

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/DE05/000360

International filing date: 02 March 2005 (02.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 10 2004 011 015.8
Filing date: 02 March 2004 (02.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 10 May 2005 (10.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 10 2004 011 015.8

Anmeldetag: 02. März 2004

Anmelder/Inhaber: Brose Fahrzeugteile GmbH & Co KG Coburg,
96450 Coburg/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung
eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen
Bauteils

IPC: B 60 R, G 06 N

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 27. April 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Faust

5 Brose Fahrzeugteile GmbH & Co.
Kommanditgesellschaft, Coburg
Ketschendorfer Straße 38 - 50

D-96450 Coburg

10

BRO 1392 – 2003 114 EM

15

**Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung
eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen Bauteils**

20

Beschreibung

25 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils, insbesondere ein Verfahren zum Ermitteln der Kraft, mit der eine Antriebseinrichtung ein Bauteil verstellt oder ein im Verstellweg des Bauteils befindliches Objekt einklemmt.

30

Aus der DE 198 40 164 A1 ist ein Verfahren zum Verstellen eines zwischen zwei Stellungen translatorisch bewegbaren Bauteils bekannt, bei dem die momentane Krafteinwirkung auf das translatorisch bewegbare Bauteil aus der Periodendauer eines Antriebsmotors, der Teil einer das translatorisch verstellbare Bauteil verstellenden Antriebseinrichtung ist, aus Kraftänderungswerten, die aus Änderungen der Drehzahl des Antriebsmotors berechnet werden, und aus den aufsummierten und über Gleichungssysteme, die anhand eines mathematischen Modells der gesamten Verstellvorrichtung einschließlich des Antriebs erstellt wurden, gewichtete Kraftänderungswerte ermittelt werden, die ausschließlich vom Verhalten des Antriebsmotors abhängen. Die momentane Krafteinwirkung auf das translatorisch bewegbare Bauteil wird als Kriterium für das Abschalten oder Reversieren des Antriebsmotors herangezogen, wobei bei der Berechnung der Kraftänderungswerte für jeden Drehzahländerungswert, der einen oberen Schwellwert über-

35

40

steigt, der Wert dieses oberen Schwellwertes anstelle des Drehzahländerungswertes herangezogen wird.

Zur Begrenzung der Anzahl der zu erfassenden physikalischen Größen und der Häufigkeit der Abtastungen der physikalischen Größen wird die Periodendauer der Umdrehungen des Antriebsmotors mittels eines Magnetrades und zweier Hall-Sensoren erfasst. Aus der erfassten Periodendauer in Verbindung mit verschiedenen, empirisch oder messtechnisch erfassten Parametern wird eine fein gerasterte Überwachung der Einklemmschutzkriterien durch Extrapolation der erfassten Periodendauer angestrebt.

Dazu werden zur Bestimmung der momentanen Krafteinwirkung auf das translatorisch bewegbare Bauteil die nur periodenweise zur Verfügung stehenden Messwerte der Periodendauer extrapoliert, wobei die bei der Extrapolationsformel verwendeten Parameter das Gesamtsystem der Antriebsvorrichtung modulieren und durch die Federsteifigkeiten, Dämpfungen und Reibungen des Gesamtsystems bestimmt sind. Dadurch werden spektrale Anteile des Periodenzeitverlaufs, die von Vibrationen herrühren, schwächer bewertet als solche, die von einem Einklemmfall herrühren. Aus den so bestimmten Schätzwerten für die Periodendauer wird dann die Drehzahländerung zu einem Zeitpunkt, bezogen auf den vorhergehenden Zeitpunkt unter Verwendung eines Motorspannungsfilters und eines Wegprofilfilters abgeschätzt, um Einflüsse der Motorspannung und der Position des beweglichen Fahrzeugteils auf die Motordrehzahl zu eliminieren.

Die für die Elimination der Motorspannung und Position des translatorisch bewegbaren Bauteils auf die Motordrehzahl verwendeten Größen bilden unter anderem das dynamische Verhalten des Antriebsmotors bei Spannungsänderungen nach. Eine weitere Korrektur wird dadurch vorgenommen, dass die abgeschätzten Drehzahländerungen mit einer festgesetzten, zeitlich konstanten Untergrenze verglichen werden. Soweit die abgeschätzten Drehzahländerungen diese Untergrenze übersteigen, werden sie mit einem Proportionalitätsfaktor multipliziert, der die Steilheit der Motorkennlinie des Antriebsmotors wiedergibt.

Aus der DE 40 20 351 C2 ist ein Verfahren zur Steuerung einer Fensterscheibe eines Kraftfahrzeugs bekannt, bei dem ein Korrekturverfahren angewendet wird, um ein Einklemmschutzkriterium abzuleiten, mit dem ein zu frühes Ansprechen einer Einklemmschutzvorrichtung verhindert werden soll. Zu diesem Zweck versorgt eine erste Sensoreinrichtung eine Steuerelektronik mit ursächlich mit der Fensterscheibe und der die Fens-

terscheibe bewegenden Antriebseinrichtung zusammenhängenden Signalen wie Bordspannung, Fensterhebergeschwindigkeit, Drehmoment des Antriebs, Scheibengewicht usw., während ein zweites Sensorelement die Steuerelektronik mit ursächlich nicht mit der Fensterscheibe und der Antriebseinrichtung zusammenhängenden Signalen versorgt, nämlich mit auf die Karosserie einwirkenden Beschleunigungskräften. Um ein fälschliches Abschalten oder Reversieren der Einklemmschutzvorrichtung zu verhindern, werden die Signale des zweiten Sensorelementes als Grundpegel verwendet und die Signale der ersten Sensoreinrichtung unter Sicherheitsaspekten bewertet.

- 10 Bei dem bekannten Verfahren wird von einer relativen Erkennung eines Kraftaufbaus durch einen Anstieg der Periodendauer Gebrauch gemacht, das heißt, die Kraftänderungen in aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten werden miteinander verglichen, wodurch der Anlauf des translatorisch bewegbaren Bauteils nur schwer vom Einklemmen eines Objekts im Verstellweg des translatorisch bewegbaren Bauteils unterschieden werden kann.

- 20 Bei Spannungssprüngen im Bordnetz eines Kraftfahrzeugs und beim Befahren von Schlechtwegstrecken erfolgt durch die bekannten Verfahren eine Überkompensation der Störgrößen, was zu hohen Offsets mit sehr hohen Kräften führt, so dass die zulässigen Einklemmkräfte überschritten werden. Ein weiterer Nachteil der bekannten Verfahren besteht darin, dass eine Erkennung der auf das translatorisch bewegbare Bauteil einwirkenden Kraft nur bei einem Anstieg in der Periodendauer möglich ist, was zu hohen Kräften bei einer Degression der Periodendauer führt, das heißt bei einer Abnahme der Periodendauer, beispielsweise infolge einer Leichtgängigkeit des translatorisch bewegbaren Bauteils, was ebenfalls zu erhöhten Einklemmkräften führt.

- 30 Alters- und verschleißbedingte Veränderungen im Verlauf des Verstellwegs des translatorisch bewegbaren Bauteils werden bei dem bekannten Verfahren durch Parameteränderungen kompensiert, was eine Nachführung des Regelalgorithmus und ein entsprechend aufwändiges Regelungsverfahren bedingt.

- 35 Schließlich sind die bekannten Verfahren an die Auswahl einer bestimmten Anzahl unterschiedlicher Parameter gebunden, die für das Abschalten bzw. Reversieren des translatorisch bewegbaren Bauteils maßgeblich sind, was bei einer größeren Parameterzahl einen entsprechenden Aufwand an Sensorik und Regelungstechnik mit sich bringt.

Aus der DE 101 96 629 T1 ist die Anwendung eines neuronalen Netzes in einem Sensorsystem für ein angetriebenes Schließsystem und ein Verfahren zum bedarfsweisen Verhindern des Schließens eines angetriebenen Schließsystems bekannt, bei dem das Sensorsystem Gegenstände vor dem Einklemmen durch einen Näherungssensor erkennt. Die bei den vorstehend angegebenen bekannten Verfahren auftretenden Probleme beziehen sich jedoch auf eine Erfassung von Signalen der Antriebseinrichtung, was eine Auswertung und Fehlerkorrektur wegen der wechselseitigen Einflussgrößen besonders schwierig macht.

- 10 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils anzugeben, das die unterschiedlichen Einflussgrößen auf die Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft berücksichtigt, an Veränderungen der Einflussgrößen automatisch anpassbar ist und eine hohe Flexibilität bei der Berücksichtigung der
- 15 Einflussgrößen auf einen Einklemmschutz aufweist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

- 20 Die erfindungsgemäße Lösung stellt ein Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils, insbesondere durch Ermittlung einer Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft, mit einstellbarer Empfindlichkeit zur Verfügung, das die unterschiedlichsten Einflussgrößen auf die Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft berücksichtigt, an Veränderungen der Einflussgrößen automatisch anpassbar ist und eine hohe Flexibilität
- 5 bei der Berücksichtigung der Einflussgrößen auf einen Einklemmschutz aufweist.

Im einzelnen stellt die erfindungsgemäße Lösung sicher, dass

- die Empfindlichkeit der Kraftermittlung bei niedrigen Federraten einstellbar ist;
- 30 - Änderungen der Versorgungsspannung nicht zu hohen Kraftschwankungen und insbesondere Spannungssprünge nicht zu einem Reversieren der Verstellbewegung oder zu einer Überkompensation führen;
- ein großer Spannungsbereich von beispielsweise 8-17 V gewährleistet ist;
- eine Überlagerung eines Kraftaufbaus bei einer Beschleunigung rechtzeitig erkannt
- 35 wird;

- fortlaufend Veränderungen im Verstellweg des verstellbaren Bauteils erfasst werden;
 - die Abschaltkraft des Einklemmschutzes kontinuierlich einstellbar ist;
 - die Art der Signalerfassung beliebig ist und
- 5 - eine einfache Anpassung an kundenspezifische Forderungen möglich ist.

Die erfindungsgemäße Lösung nutzt die Vorteile eines neuronalen Netzes bei der Ermittlung einer Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft, nämlich

- 10 - die Fähigkeit, aus gegebenen Daten selbständig zu lernen, ohne dafür explizit programmiert werden zu müssen,
- das Erkennen von gespeicherten Mustern auch dann, wenn das Eingabemuster in der Lernphase unvollständig oder ein Teil davon fehlerhaft ist sowie
- von gelernten auf nicht gelernte Probleme zu schließen.

15

Vorzugsweise wird eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung durch eine Veränderung der Periodendauer und/oder des Motorstroms und/oder der Motorspannung eines Antriebsmotors der Antriebseinrichtung ermittelt.

- 20 Das erfindungsgemäße Verfahren macht von einer direkten oder indirekten Erkennung eines Einklemmfalles durch ein Ansteigen der Periodendauer oder des Motorstromes unter Berücksichtigung der Motorspannung des Antriebsmotors der Antriebseinrichtung bzw. durch eine Verknüpfung eines Teils oder sämtlicher Signale Gebrauch. Während im Einklemmfall, der vorzugsweise bei verschiedenen Federraten von beispielsweise
- 25 2N/mm, 10N/mm, 20N/mm und 65N/mm mit einem 4mm Stab ermittelt wird, das verstellbare Bauteil angehalten oder reversiert wird, führt ein Spannungssprung, ein Einlaufen des verstellbaren Bauteils in eine Dichtung oder eine sonstige, auch witterungsbedingte Schwergängigkeit im Verstellweg des verstellbaren Bauteils sowie der Anlauf der Antriebseinrichtung zu einer Fortsetzung der Verstellbewegung.

30

Während bei vielen der bekannten Verfahren zusätzliche Sensoren wie beispielsweise Näherungssensoren, Beschleunigungssensoren und dergleichen eingesetzt werden, erfolgt bei der erfindungsgemäßen Lösung eine Auswertung der Periodendauer und oder des Motorstroms und/oder der Motorspannung und somit ohne den zusätzlichen Herstellungsaufwand durch die Installation entsprechender Sensoren in Verbindung mit einer

35

Einrichtung zur Auswertung der Sensorsignale mit einem geeigneten Algorithmus, der auf viele Einklemmfälle nicht oder nur ungenügend reagiert.

5 Die aus der Antriebseinrichtung ableitbaren Eingangssignale können wahlweise parallel, d.h. gleichzeitig, oder seriell, beispielsweise im Multiplexverfahren, an die Eingangsneuronen der Eingangsschicht des neuronalen Netzes abgegeben werden.

10 Damit das neuronale Netz in der Lage ist, zu lernen, werden die Eingänge der Eingangsschicht, der verborgenen Schicht und der Ausgangsschicht sowie die Verbindungen der Eingangsschicht mit der mindestens einen verborgenen Schicht, die Verbindungen der mehreren verborgenen Schichten untereinander und die Verbindung einer verborgenen Schicht mit der Ausgangsschicht verschieden stark gewichtet, wodurch die Verbindungen zwischen den einzelnen Schichten unterschiedliche Stärke haben.

15 Weiterhin besitzen die verborgenen Neuronen der mindestens einen verborgenen Schicht und das mindestens eine Neuron der Ausgangsschicht einen konstanten Schwellwert oder Bias, der den Ausgang der Transferfunktionen der Neuronen in einen stetigen Bereich verschiebt. Dabei sind der Bias und die Gewichte Konstanten, die in der Anwendung bzw. einem Serieneinsatz nicht mehr verändert, beziehungsweise nachge-
20 lernt werden. Sie werden einmal vor dem Serieneinsatz ermittelt und beispielsweise in einem EEPROM abgelegt. Der Algorithmus kann dann, falls sich Schwachpunkte im Algorithmus aufzeigen, durch eine neue Parametereinstellung, d.h. durch Nachlernen verbessert werden. In der Anwendung jedoch bleiben sowohl die Gewichte als auch der Bias bestehen.

5 In einer Lernphase werden an die Eingangsneuronen, verborgenen Neuronen und/oder Ausgangsneuronen des neuronalen Netzes zufällige Gewichte vergeben, verschiedene an die Eingangsneuronen angelegte Eingangsmuster vorgegeben und der dazugehörige mindestens eine Ausgangswert berechnet wird und in Abhängigkeit vom Unterschied
30 zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und mindestens einem Soll-Ausgangswert die Gewichte und/oder der Schwellenwert verändert. Dabei hängt das Maß der Änderung der Gewichte von der Größe des Unterschieds zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und dem mindestens einen Soll-Ausgangswert ab.

Die Messung des Ausgangswertes erfolgt vorzugsweise mit einer Kraftmesszange bei unterschiedlichen Federraten, insbesondere bei 2 N/mm und 20 N/mm, wobei die Kraftmesszange analog zu den Eingangswerten den gemessenen Ausgangswert ausgibt.

- 5 Entsprechend der direkten oder indirekten Signalerfassung, mit der das Abbremsen der Antriebseinrichtung durch einen Anstieg der Periodendauer und/oder der Stromaufnahme eines Antriebsmotors der Antriebseinrichtung ermittelt wird, werden den Eingangsneuronen als Eingangssignale die Motorperiode und oder der Motorstrom und/oder die Motorspannung des Antriebsmotors eingegeben.

10

Als zusätzliches Eingangssignal wird den Eingangsneuronen eine Adaptionperiode eingegeben, die die bei einer vorgegebenen Referenzspannung berechnete Periode angibt, die zur Position einer in der Lernphase abgelegten Referenzwegstrecke gehört.

- 15 In der Lernphase kann die Adaptionperiode in einem kleineren als dem in der Anwendung verwendeten neuronalen Netz berechnet werden, wobei die Adaptionperiode gemittelt wird, indem bei jeder vollen Umdrehung oder in 4 Viertelperioden des Antriebsmotors das neuronale Netz eine neue Adaptionperiode errechnet, die bei der nächsten Verstellbewegung als Adaptionperiode zur Verfügung gestellt wird.

20

In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung bestehen die Eingangswerte der Eingangsneuronen aus den Werten eines Adaptionanlaufs des verstellbaren Bauteils, den Werten einer Adaptionperiode beim Verstellen des verstellbaren Bauteils, einem Anlauf-
5 flag, den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Spannungswerte des Antriebsmotors, den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Periodenwerte, der Antriebsmotortemperatur, der Außentemperatur, einem Geschwindigkeitssignal, einem Schwingflag und einem vorangegangenen Ausgangswert, während als Ausgangswert eines Ausgangsneurons die neuronal ermittelte Kraft abgegeben wird.

- 30 In der Lernphase des neuronalen Netzes werden an die Eingangsneuronen Eingangsmuster angelegt und die von dem mindestens einen Ausgangsneuron abgegebenen Kraftwerte in Abhängigkeit von der gewünschten Empfindlichkeit des Systems bei niedrigen Federraten ausgewählt bzw. vorgegeben. Dabei besteht der Lernanteil in der Lernphase des neuronalen Netzes insbesondere aus der Adaptionperiode, die nach jedem
35 Lauf neu in der Anwendung ermittelt wird.

Die Lernphase erfolgt nach einem weiteren Merkmal der Erfindung vor der betriebsgemäßen Anwendung in einem Fahrzeug, während bei der betriebsgemäßen Anwendung die in der Lernphase ermittelten Gewichte des neuronalen Netzes festgelegt werden.

- 5 Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sollen nachfolgend an den in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Es zeigen:

10 Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Systems zum Ermitteln der Kraft, mit der eine Antriebseinrichtung einen Fensterheber in einer Kraftfahrzeugtür zum Verstellen einer Fensterscheibe antreibt;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines im System gemäß Fig. 1 verwendeten neuronalen Netzes;

15 Fig. 3 bis 6 zeitliche Darstellungen verschiedener Parameter beim Verstellen des Fensterhebersystems gemäß Fig. 1;

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Eingangsmusters eines Backpropagation-Netzwerks;

20

Fig. 8 eine schematische Darstellung der Vorspannung von Neuronen des Netzwerks gemäß Fig. 7;

Fig. 9 bis 11 weitere Eingangsmuster des Backpropagation-Netzwerks gemäß Fig. 7 und

5

Fig. 12 eine zeitliche Darstellung des Lernerfolges bei vorgegebenen Eingangsmustern der Netzwerke gemäß den Fig. 7, 9, 10 und 11 bei zwei unterschiedlichen Spannungen.

30

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Steuer- und Regelsystems für einen Antriebsmotorisch angetriebenen Fensterheber 2 in einer Kraftfahrzeugtür 1. Der Fensterheber 2 weist eine Hebeschiene 21 auf, an der eine Fensterscheibe 22 als verstellbares Bauteil befestigt ist. Die Hebeschiene 21 ist mittels einer Hebevorrichtung 23 und eines Antriebsmotors 3, die Teile einer Antriebseinrichtung sind, beweglich, so dass die Fensterscheibe 22 angehoben und abgesenkt werden kann. Der Antriebsmotor 3 wird

35

aus einer Spannungsquelle 5 über eine Schalteinrichtung 4 gespeist, die sowohl die Drehzahl als auch die Drehrichtung des Antriebsmotors 3 bestimmt.

Ein als Steuer- und Regelelektronik dienender Mikroprozessor 6 versorgt die Schalteinrichtung 4 mit Steuer- und Regelsignalen und ist mit einer Bedienungseinheit 7, beispielsweise mit den Tasten oder Schaltern zur Bedienung des Fensterhebers 2, verbunden. Eine temporäre Verbindung kann mit einem Mikrocomputer 8 zur Durchführung einer oder mehrere Lernphasen des Mikroprozessors 6 hergestellt werden.

Da beim Schließen der durch die Fensterscheibe 22 abdeckbaren Türöffnung durch Anheben der Fensterscheibe 22 die Gefahr eines Einklemmens von Körperteilen oder Gegenständen zwischen dem Rand der Fensterscheibe 22 und dem Türrahmen der Kraftfahrzeugtür 1 besteht, ist bei Antriebsmotorisch angetriebenen Fensterhebern eine Einklemmschutzeinrichtung vorgeschrieben, mit der das Einklemmen eines Objekts erkannt wird und zu einem Anhalten bzw. Reversieren des Antriebsmotors 3 und damit der Bewegungsrichtung des Fensterhebers 2 führt.

Der Einklemmschutz muss gewährleisten, dass die auf ein im Verstellweg der Fensterscheibe 22 befindliches Körperteil bzw. auf einen Gegenstand wirkende Einklemmkraft einen gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwert nicht überschreitet. Dabei muss im oberen Dichtungsbereich gewährleistet sein, dass einerseits die Fensterscheibe 22 sicher schließt, wozu zur Überwindung des durch die Fensterdichtung gegebenen Widerstandes eine erhöhte Verstellkraft aufgebracht werden muss, andererseits muss diese Verstellkraft aus Sicherheitsgründen derart dimensioniert sein, dass ein 4 mm-Stab erkannt wird und der Einklemmschutz den Fensterheber 2 abschaltet bzw. reversiert. Das bedingt, dass auch Beschleunigungskräfte, die durch äußere Einflüsse, wie eine Schlechtwegstrecke, mit der dadurch bedingten Beschleunigung des Fahrzeugs senkrecht zur Fahrtrichtung sicher erkannt werden, um Fehlfunktionen des Einklemmschutzes auszuschließen.

Zu diesem Zweck wird der zur translatorischen Verstellung der Fensterscheibe 22 eigentlich nur notwendigen Kraft eine als Reversierkraft bezeichnete Kraft aufgeprägt, deren Größe begrenzt ist. Die Summe beider Kräfte ist gleich der von der Antriebseinrichtung abgegebenen Verstellkraft, die zur Verstellung der Fensterscheibe 22 verwendet wird. Die Reversierkraft stellt daher eine Kraftreserve zur Überwindung zusätzlicher Gegenkräfte dar. Sie kann in den verschiedenen Teilbereichen des Gesamt-Verstellweges der

Fensterscheibe 22 eine unterschiedliche Begrenzung aufweisen, die beispielsweise aufgrund des hohen Widerstandes der Fensterdichtung im oberen Bereich des Verstellweges, wo die Fensterscheibe 22 in die Türdichtung einläuft, höher gewählt wird als in dem darunter befindlichen Verstellbereich, so dass ein sicheres Einfahren der Fensterscheibe in den Dichtungsbereich gewährleistet ist.

Erfindungsgemäß erfolgt die Steuerung und Regelung der Schalteinrichtung 4 zum Betrieb des Antriebsmotors 3 der Antriebseinrichtung durch ein mittels des Mikroprozessors 6 ausgeführtes neuronales Netz 9, dessen Struktur schematisch in der Fig. 2 dargestellt ist.

Die Bestandteile des in Fig. 2 dargestellten neuronalen Netzes 9 sind Neuronen 10, 11, 12, die aus einem Eingabevektor, einem Gewichtsvektor, und einer Transferfunktion mit einer Aktivierungs- und Ausgabefunktion bestehen. Das neuronale Netz 9 besteht somit aus einer Menge von in Schichten 91, 92, 93, 94 angeordneten Neuronen 10, 11, 12 und gewichteten Verbindungen 14, 15, 16 und besitzt die Struktur eines gerichteten Graphen, für den folgende Einschränkungen und Zusätze gelten:

- Die Knoten des neuronalen Netzes werden durch die Neuronen 10, 11, 12 gebildet
- Die Kanten des neuronalen Netzes heißen Verbindungen
- Es gibt gewichtete Verbindungen zwischen den Neuronen einer Schicht 91, 92, 93
- Es gibt gewichtete Verbindungen zwischen den Neuronen benachbarter Schichten 91, 92, 93, 94.
- Die Eingangs- oder Eingabeschicht 91 dient zur Aufnahme der Eingangssignale
- Eine oder mehrere verborgene Schichten 92, 93 dienen der Verarbeitung der von den Eingangsneuronen 10 der Eingabeschicht 91 abgegebenen Signale und erlauben die Abbildung komplexer Funktionen
- Die Ausgangs- oder Ausgabeschicht 94 gibt das aus den verarbeiteten Eingangssignalen ermittelte Resultat ab.

Damit das neuronale Netz 9 in der Lage ist, zu lernen, müssen die einzelnen Eingänge eines Neurons 10, 11, 12 verschieden stark gewichtet werden können. Die Gewichtung bewirkt, dass die Verbindungen zwischen den einzelnen Schichten 91, 92, 93, 94 unterschiedliche Stärke haben, so dass die Verbindungen zwischen der Eingangsschicht 91

und der Ausgangsschicht 94 die durch die Eingangssignale eingegebenen Informationen nicht immer optimal übertragen, sondern

- 5 - überhaupt nicht, wenn das Gewicht der Verbindung 0 ist, das heißt, keine Verbindung besteht,
- die Verbindung hemmen, wenn das Gewicht negativ ist, und
- die Verbindung anregen, wenn das Gewicht größer Null ist.

10 Zur Erfassung eines Einklemmzustandes wird das Abbremsen der Antriebseinrichtung durch einen Anstieg der Periodendauer und/oder der Stromaufnahme eines Antriebsmotors der Antriebseinrichtung ermittelt. Wird bei dieser indirekten Erkennung die Stromaufnahme des Antriebsmotors ermittelt, so werden als Eingangswerte beispielsweise die letzten 12 Stromwerte der Motorstromaufnahme, ein Adaptionstrom, der das Motormoment bei einer Motorspannung von beispielsweise 13 V widerspiegelt und die letzten 3
15 Spannungswerte erfasst. Bei einer Periodenauswertung werden beispielsweise die letzten z.B. 12 Periodenwerte, eine Adaptionsperiode, die bei einer Normierspannung von z.B. 13 V gemessen wird, und die letzten 3 Spannungswerte erfasst. In einer Lernphase wird dabei mit einer Kraftmesszange mit Werten von 2 N/mm und 20 N/mm angelern, die analog zu den Eingangssignalen den gemessenen Ausgangswert von beispielsweise 0
20 - 160N mit ausgibt, so dass das neuronale Netz in der Anwendung einen Teil der Verschiebekraft mit ausgibt und bei einem Einklemmen die aufgebaute Kraft.

25 Das in Fig. 2 dargestellte neuronale Netz 9 weist in der Eingangsschicht 91 eine Anzahl von 24 Eingangsneuronen 10 auf, an die mit unterschiedlichem Gewicht verschiedene Eingangssignale wie die Periodendauer und/oder die Stromaufnahme des Antriebsmotors 3 gemäß Fig. 1, Spannungswerte, ein den Anlauf des Antriebsmotors 3 angegebendes Anlauf-Flag sowie Adaptionsperioden bestehen, die eine zur jeweiligen Position eines in einer Lernphase durchgeführten und abgelegten Referenzhubs zugehörige Periode bei einer vorgegebenen Referenzspannung bezeichnen. Die Adaptionsperiode wird in einem
30 kleineren als dem in der Anwendung verwendeten neuronalen Netz berechnet und gemittelt, d.h. bei jeder vollen Umdrehung (4 Viertelperioden) des Antriebsmotors errechnet das neuronale Netz eine neue Adaptionsperiode, die im nächsten Fensterheberhub als Adaptionsperiode zur Verfügung gestellt wird. Der Wertebereich wird hauptsächlich durch vorkommende Minimal und Maximal-Werte bestimmt, wobei versucht wird, die
35 Eingangsmuster Inputs möglichst zwischen 0 und 1 zu legen.

Jedes Eingangsneuron 10 der Eingangsschicht 91 ist über eine Vielzahl von Verbindungen 14, denen unterschiedliche positive oder negative Gewichte zugeordnet sind, mit den verborgenen Neuronen 11 einer ersten verborgenen Schicht 92 verbunden. Auch die verborgenen Neuronen 11 der ersten verborgenen Schicht 92 weisen unterschiedliche positive und negative Gewichte auf und sind über mehrere ebenfalls positiv oder negativ gewichtete Verbindungen 15 mit den verborgenen Neuronen 11 einer zweiten verborgenen Schicht 93 verbunden, deren Eingänge ebenfalls unterschiedlich positiv oder negativ gewichtet sind. Schließlich sind die verborgenen Neuronen 11 der zweiten verborgenen Schicht 93 über ebenfalls positiv oder negativ gewichtete Verbindungen 16 mit einem Ausgangsneuron 12 der Ausgangsschicht 94 verbunden, an dem der aus den Eingangswerten ermittelte Ausgangswert ansteht.

Die Gewichtung der Eingänge und Verbindungen der Neuronen des in Fig. 2 dargestellten mehrstufigen neuronalen Netzes 9 erfolgt nach einer ersten empirischen Vorgabe in einer Lernphase, in der neue Verbindungen entwickelt, existierende Verbindungen gelöscht, die Stärken der Verbindungen durch Veränderung der Gewichte modifiziert, Schwellenwerte und Transferfunktionen modifiziert, neue Neuronen entwickelt und bestehende Neuronen gelöscht werden. Von diesen Möglichkeiten des Lernens in der Lernphase wird bei dem erfindungsgemäß verwendeten neuronalen Netz 9 insbesondere von der Modifikation der Stärke der Verbindungen durch Veränderung der Gewichte, der Modifikation des Schwellenwertes sowie der Modifikation der Transferfunktion Gebrauch gemacht.

In der Lernphase werden im ungelernten Zustand zunächst zufällig Gewichte vergeben. Nach dem Prinzip des überwachten Lernens werden anschließend verschiedene Eingangsmuster vorgegeben und der zugehörige Ausgangswert berechnet. Anschließend wird die Differenz zwischen dem berechneten Ausgangswert und einem vorgegebenen Soll-Ausgangswert bestimmt, aus der dann über die Lernregel das neuronale Netz 9 modifiziert wird. Je größer der Unterschied zwischen dem berechneten Ausgangswert und dem vorgegebenen Soll-Ausgangswert ist, desto mehr werden die Gewichte verändert, so dass der Fehler bzw. die Abweichung des berechneten Ausgangswertes vom vorgegebenen Soll-Ausgangswert von der Ausgangsschicht 94 zu den verborgenen Schichten 93, 92 und dann zur Eingangsschicht 91 zurückgerechnet wird.

Nach Abschluss der Lernphase ist das neuronale Netz 9 in der Lage, aus nicht gelernten, ähnlichen Eingangsmustern den richtigen Ausgangswert zu berechnen. Schwächen in

der Funktion des neuronalen Netzes 9 können dabei durch erneutes Lernen bestimmter, vorgegebener Situationen beseitigt werden. Daraus ergeben sich im Vergleich zu bekannten Verfahren zur Ermittlung der Verstellkraft, Einklemmkraft oder Reversierkraft die Vorteile, dass keine Einzelbewertung der Eingangssignale, wie bei der Anwendung des bisherigen Algorithmus, sondern eine Interpretation der Summe aller Eingänge erfolgt. Weiterhin können nichtlineare Zusammenhänge wie das Verhalten des Antriebsmotors 3 gemäß Fig. 1 nachgebildet und mit dem bisherigen Algorithmus nicht oder nur mit Einschränkung auswertbare Signalverläufe korrekt interpretiert bzw. berechnet werden, so dass eine für einen zuverlässigen Einklemmschutz erforderlicher momentaner Kraft-Ausgangswert ermittelt wird. Diese Funktion soll anhand verschiedener in den Fig. 3 bis 6 dargestellter Signalverläufe näher erläutert werden.

Fig. 3 zeigt eine vereinfachte Darstellung des Verlaufs der Periodendauer des Antriebsmotors der Antriebseinrichtung über der Zeit t beim Anheben einer Fensterscheibe von ihrer untersten in die oberste Stellung, in der die Fensterscheibe die Türöffnung einer Kraftfahrzeugtür vollständig abdeckt.

In der Anlaufphase A sinkt die Periodendauer zunächst stark ab und steigt nach einem Minimum stark an. Das Absinken der Periodendauer ist gleichbedeutend mit einer Beschleunigung des Antriebsmotors in der Anlaufphase A, die mit einem entsprechenden Kraftaufbau verbunden ist. Nach Beendigung der Anlaufphase A bleibt die Periodendauer nahezu konstant bzw. steigt geringfügig an, da die Reibung infolge der Führung der Fensterscheibe in der Fensterdichtung mit der zurückgelegten Wegstrecke zunimmt. Da beim Einlauf E der Fensterscheibe in die obere Fensterscheibendichtung die Reibung stark zunimmt, steigt die Periodendauer sprungartig an, verläuft anschließend nahezu linear bzw. geringfügig ansteigend bis sie mit dem Erreichen des oberen Anschlages steil zunimmt.

Dieser charakteristische Verlauf der Periodendauer beim Schließen einer Fensterscheibe führt bei dem bekannten Einklemmschutzverfahren und Einklemmschutzeinrichtungen zu hohen Kräften in der Anlaufphase A. Veränderungen auf der von der Fensterscheibe zurückgelegten Wegstrecke können nur durch Parameteränderungen kompensiert werden, damit beispielsweise beim Dichtungseinlauf die Fensterscheibe infolge erhöhter Reibung nicht stehen bleibt bzw. aufgrund des Ansprechens des Einklemmschutzes re-versiert.

In den Fig. 4a und 4b sind zwei unterschiedliche Verfahren zur Erfassung eines Einklemmvorganges durch einen Verlauf der Periodendauer über der Zeitachse t dargestellt.

Fig. 4a zeigt eine rein relative Erfassung der Periodendauer über der Zeit t , wobei ein Einklemmfall durch einen Anstieg der Periodendauer, der mit einem entsprechenden Kraftaufbau verbunden ist, festgestellt wird. Bei der rein relativen Erfassung wird nur die zeitliche Veränderung der Periodendauer beim Verstellen der Fensterscheibe überwacht und beim Überschreiten einer Auslöseschwelle AS die Fensterscheibe angehalten bzw. reversiert, jedoch werden keine absoluten Werte erfasst oder überwacht.

Fig. 4b zeigt den Periodenverlauf über der Zeit t bei einem rein absoluten Erfassungssystem, bei dem ein Periodenanstieg ebenfalls mit einem entsprechenden Kraftaufbau verbunden ist. Die Auslösung des Einklemmschutzes erfolgt bei Überschreiten eines vorgegebenen Absolutwertes AW der Periodendauer gegenüber einer vorprogrammierten Referenzkurve R.

Fig. 5 zeigt einen schematischen Verlauf der Periodendauer über der Zeit t im Falle einer niedrigen Federrate, d.h. einer Federrate FR von beispielsweise 2N/mm des Verstellsystems. Der zeitliche Verlauf verdeutlicht den langsamen Kraftaufbau infolge des geringen Anstiegs der Periodendauer über den Verstellweg nach Beendigung der Anlaufphase, wobei beispielsweise bei Anwendung eines relativen Erkennungssystems infolge des geringen Anstiegs und bei Anwendung des absoluten Erkennungssystems infolge der langen Zeitdauer bis zum Erreichen eines Abschaltkriteriums hohe Kräfte aufgebaut werden können.

Fig. 6 zeigt schematisch den Verlauf der Periodendauer T , der Position P und der (Verstell-)Kraft über der Zeitachse t beim Auftreten einer äußeren Beschleunigung, beispielsweise beim Befahren einer Schlechtwegstrecke oder in Folge einer lokal und/oder zeitlich begrenzten Leichtgängigkeit im Verstellweg. Aufgrund der unterstützenden Wirkung der Beschleunigungskräfte oder der Reduzierung bzw. des Wegfalls von Reibungskräften bei der Scheibenbewegung sinkt die Periodendauer T kurzzeitig ab, das heißt, die Fensterscheibe wird kurzzeitig beschleunigt. Wird der Verstellkraft in dem Beschleunigungsbereich B eine Kraft überlagert, so tritt ein steiler Kraftaufbau K auf, der mit den bekannten Einklemmschutzverfahren nicht erkannt wird, da nur positive Periodenveränderungen detektiert werden. In dem in Fig. 6 gestrichelt dargestellten Be-

schleunigungsbereich B sind somit die bekannten Einklemmschutzregelungen nicht funktionsfähig.

5 Aufgrund der vorstehend anhand der zeitlichen Darstellungen der Periodendauer in den Fig. 3 bis 6 treten bei der Anwendung der bekannten Einklemmschutzverfahren folgende Probleme und Nachteile auf:

- 10 a) Es treten hohe Kräfte bei niedrigen Federraten und eine schlechte Erkennung eines 4mm-Stabes in allen Richtungen auf,
- b) Es erfolgt eine Überkompensation bei Spannungssprüngen und Schlechtwegstrecken mit der Folge hoher Offsets mit sehr hohen Kräften, so dass beispielsweise ein Spannungseinbruch im Bordnetz, der mit einem Anstieg der Periodendauer verbunden ist, durch ein Offset kompensiert wird, wodurch ein Überschwingen und damit verbundene große Einklemmkräfte auftreten,
- 15 c) Eine Krafterkennung ist nur durch einen Anstieg in der Periodendauer möglich, bei einer Degression der Periodendauer (Fig. 6) können hohe Kräfte auftreten,
- 20 d) Es treten Veränderungen im Verlauf des Verstellweges des verstellbaren Bauteils auf, zu denen schleichende Veränderungen wie Alterung, Dichtungsabrieb und Einlaufen des Fensterhebers sowie Motorunstetigkeiten gehören, die sich stets an derselben Position zeigen, und die durch Parameteränderungen kompensiert werden müssen,
- 25 e) In der Anlaufphase treten hohe Kräfte auf.

30 Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren erfolgt eine getrennte Betrachtung der Eingangssignale Periode und Spannung. Ein Spannungsfiler wirkt dabei ab einer Ansprechschwelle nur in einer Richtung und eine Krafterkennung ist ausschließlich durch die Erfassung eines Anstiegs der Motorperiode möglich. Bei der erfindungsgemäßen Anwendung eines neuronalen Netzes werden dagegen im Unterschied zu dem bekannten Einklemmschutzverfahren die Eingangssignale Periode und Spannung miteinander
35 verknüpft, so dass kein Spannungsfiler benötigt wird und Periodenänderungen in jeder

Richtung detektiert werden. Weiterhin wird im Unterschied zu dem bekannten Verfahren nicht ein Offset adaptiert, sondern die Periodendauer des Antriebsmotors.

5 In Bezug auf die vorstehend in den Fig. 3 bis 6 dargestellten Problemfälle bei der richtigen Erkennung und Auslösung eines Einklemmschutzes führt der Einsatz eines neuronalen Netzes nach Abschluss der Lernphase zu folgenden Ergebnissen:

- 10 1. Niedrige Federraten werden einstellbar erkannt, d.h. durch die Auswahl der Lerndaten und die Vorgabe des Sollausgangs- oder Kraftwertes kann festgelegt werden, wie empfindlich das System bei niedrigen Federraten sein soll. Dies wird durch eine Festlegung des Arbeitspunktes zwischen der in Fig. 4a und 4b dargestellten relativen und absoluten Arbeitsweise erlernt, wobei der Arbeitspunkt stufenlos einstellbar ist. Durch diese Mischarbeitsweise werden niedrige Federraten und damit ein langsamer Anstieg in der Periodendauer dadurch erkannt, dass große Abweichungen vom absoluten Anteil entstehen.
- 15 2. Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren wird ein Spannungseinbruch kompensiert, was dazu führt, dass die Verlangsamung des Systems durch einen Offset auf den Abschaltwert ausgeglichen wird. Das neuronale Netz erhält dagegen die Information des Spannungseinbruchs als eine Verlangsamung der Periodendauer, wobei alle Informationen gleichberechtigt behandelt werden. Dadurch können Spannungssprünge angelernt werden, d.h. das System lernt das komplexe, nicht lineare dynamische Verhalten des Antriebsmotors. Ein Spannungsanstieg, beispielsweise in Form einer Spannungsrampe, führt somit nicht zu hohen Kräften, so dass keine hohen Kraftschwankungen, beispielsweise bei einem Anliegen einer Sinusspannung, entstehen. Der bei der Mischarbeitsweise erfasste absolute Anteil führt dazu, dass beim Befahren einer Schlechtwegstrecke festgestellt werden kann, ob die Periodendauer noch in einem gültigen Bereich liegt.
- 20 3. Durch den bei der Mischarbeitsweise erfassten absoluten Anteil wird weiterhin sichergestellt, dass auch bei einer Beschleunigung die Überlagerung eines Kraftaufbaus (Fig. 6) rechtzeitig und sicher erkannt wird, was bei den bekannten Einklemmschutzverfahren nicht möglich ist, da es immer einen nominellen Anstieg der Periodendauer geben muss, um einen Kraftaufbau zu detektieren.

4. Veränderungen am Verstellweg des verstellbaren Bauteils werden adaptiv erlernt, so dass schleichende Veränderungen, wie Alterung, Dichtungsabrieb und Einlaufen des Fensterhebers sowie Motorunstetigkeiten, die sich stets an derselben Position zeigen, durch Adaption ausgeglichen werden und keine Krafterhöhungen oder eine fehlerhafte Abschaltung oder ein fehlerhaftes Reversieren auftreten.

5. Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren kann bei Anwendung eines relativen Erkennungssystems das Anlaufverhalten der Antriebseinrichtung nur schwer von einem Einklemmfall unterschieden werden. Beim Einsatz eines neuronalen Netzes wird dieser Vorgang erlernt und gegebenenfalls durch ein Anlaufflag markiert.

6. Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren werden unterschiedliche Parameter zur Erfassung eines Einklemmfalles eingesetzt, wobei nur ein sinnvolles Zusammenspiel dieser verschiedenen Parameter zu einer hinreichend genauen Krafterfassung führt. Dagegen entscheidet beim Einsatz eines neuronalen Netzes nur ein einzelner Wert, der über das Abschalten bzw. Reversieren der Antriebseinrichtung entscheidet, nämlich der Ausgangswert der Ausgangsschicht, so dass eine kontinuierliche Einstellung der den Einklemmschutz auslösenden Abschaltkraft möglich ist.

In den Fig. 7 bis 12 ist ein Backpropagation Netzwerk schematisch vereinfacht dargestellt, das zum Ermitteln der Kraft, mit der eine Antriebseinrichtung über einen Fensterheber eine Fensterscheibe als verstellbares Bauteil verstellt oder ein im Verstellweg der Fensterscheibe befindliches Objekt einklemmt und damit einen Abschalt- oder Reversierwert abgibt, eingesetzt werden kann.

Fig. 7 zeigt ein erstes Eingangsmuster des Backpropagation Netzwerks mit drei Schichten, nämlich einer Eingabe- oder Eingangsschicht 91, einer verborgenen Schicht oder „Hidden-Schicht“ 92 und einer Ausgangs- oder Ausgabeschicht 94. Die in der Eingangsschicht 91 und der verborgenen Schicht 92 angeordneten Neuronen 101, 102, 103, 111, 112 sind durch Kanten mit der jeweils darüber liegenden Schicht 92 bzw. 94 verbunden, wobei jede Kante einen an das betreffende Neuron angeschriebenen Gewichtswert symbolisiert.

Die Eingangsschicht 91 ist mit den Eingangswerten Periodendauer, Motorspannung und Adaptionperiode beaufschlagt, die in einen für die Eingangsneuronen 101, 102, 103 passenden Wertebereich gelegt sind. Das mit der Periodendauer beaufschlagte erste

Eingangsneuron 101 weist eine Gewichtung von 0,423, das mit der Motorspannung beaufschlagte zweite Eingangsneuron 102 weist eine Gewichtung von 0,524 und das mit der Adaptionsperiode beaufschlagte dritte Eingangsneuron 103 weist eine Gewichtung von 0,279 auf.

5

Die verborgene Schicht 92 enthält zwei verborgene Neuronen 111, 112, die eingangsseitig mit den Ausgängen der Eingangsneuronen 101, 102, 103 verbunden sind. Das erste verborgene Neuron 111 ist über Verbindungen mit den Verbindungsgewichten $-0,893$, $-3,446$ und $3,376$ mit den Ausgängen der Eingangsneuronen 101, 102, 103 verbunden.

10

Das zweite verborgene Neuron 112 ist über Verbindungen mit den Verbindungsgewichten $3,869$, $3,376$ und $-0,514$ mit den Ausgängen der Eingangsneuronen 101, 102, 103 verbunden.

Die Ausgangs- oder Ausgabeschicht 94 wird durch ein Ausgangsneuron 12 dargestellt.

15

Die Höhe dieses Ausgangswertes entscheidet später über einen für die jeweilige Spannung einstellbaren Abschaltwert über das Reversieren oder das Fortsetzen des Fensterheberlaufes.

Zusätzlich besitzen die Neuronen 111, 112 und 12 der höherliegenden verborgenen Schicht 92 und der Ausgangsschicht 94 einen Schwellwert oder Biaswert, der den Ausgang der Transferfunktionen in den stetigen Bereich verschiebt. Der Biaswert und die Gewichte sind Konstanten, die in der Anwendung bzw. einem Serieneinsatz nicht mehr verändert, beziehungsweise nachgelernt werden. Sie werden einmal vor dem Serieneinsatz ermittelt und beispielsweise in einem EEPROM abgelegt. Der Algorithmus kann dann, falls sich Schwachpunkte im Algorithmus aufzeigen, durch eine neue Parametereinstellung, d.h. durch Nachlernen verbessert werden. In der Anwendung jedoch bleiben die Gewichte bestehen.

20

5

In der Lernphase werden dem neuronalen Netz Eingangsmuster präsentiert und die dazugehörigen definierten Ausgangswerte vorgegeben. Je mehr der vorgegebene Ausgangswert von dem vom neuronalen Netz mit den jeweiligen Gewichten und Biaswerten errechneten Ausgangswert abweicht, umso mehr werden die Gewichte und der Biaswert verändert. Dabei werden beispielsweise folgende spezielle Muster ausgewählt:

30

- Spannungssprünge bei einem Fensterheberlauf mit ansteigender Periode, einer einbrechenden Spannung und Ermittlung der Adaptionperiode mit einem dazugehörigen Ausgangswert von 0, da das neuronale Netz in diesem Fall keine Kraft erkennen soll,
- 5 - Zangenläufe mit einer Kraftmesszange mit rückgekoppelter Kraft aus der Kraftmesszange als Ausgangswert für das neuronale Netz mit ansteigender Periodendauer, einbrechender Spannung und Ermittlung der Adaptionperiode
- Anlernen verschiedener Federraten von beispielsweise 20N/mm und 2N/mm usw.

10

Mit den in Fig. 8 dargestellten, über den Neuronen 111, 112 und 12 eingetragenen Bias-Werten 2,536 für das erste verborgene Neuron 111 und -0,389 für das zweite verborgene Neuron 112 sowie 0,775 für das Ausgangsneuron 12, den Gewichten, den Transferfunktionen und den Eingangswerten wird der zu dem jeweiligen Eingangsmuster gehörige Ausgangswert ermittelt. Die Ermittlung des Ausgangswertes erfolgt folgendermaßen, wobei in den Fig. 7, 10, 11 und 12 der jeweils berechnete Ausgangswert unterhalb des Ausgangsneurons 12 oder der verborgenen Neuronen 111, 112 angegeben ist:

15

20 Zunächst berechnet sich der Ausgang des ersten verborgenen Neurons 111 wie folgt:

$$\Sigma = Bias(i) + w_{ij} * Eingang(j)$$

25

wobei i das i -te Neuron in der nächst höheren Schicht und w die Gewichtung darstellen und j die Zählvariable für die Eingangsschicht 91 ist. Die Gewichte werden mit den Eingangswerten multipliziert und dann aufsummiert, woraus sich für das erste verborgene Neuron 111 ergibt:

$$\Sigma_{111} = 0,423 \cdot (-0,893) + 0,524 \cdot (-3,446) + 0,279 \cdot 3,376 + 2,536 = 1,294$$

30

Diese Summe wird dann in die Transferfunktion eingesetzt. Die hier beispielsweise verwendete Transferfunktion ist ein Tangenshyberbolicus. Daraus ergibt sich der Ausgangswert des ersten verborgenen Neurons 111 zu

35

$$Ausgang_{111} = 0,859$$

Und der Ausgangswert des zweiten verborgenen Neurons 112 zu

$$\Sigma_{112} = 0,423 \cdot 3,869 + 0,524 \cdot (-0,164) + 0,279 \cdot (-0,514) - 0,389 = 1,018$$

5 $\text{Ausgang}_{112} = \text{TANH}(1,018) = 0,77$

und der Ausgangswert des Ausgangsneurons 12 zu

$$\Sigma_{12} = 0,77 \cdot 2,094 + 0,859 \cdot (-2,733) + 0,775 = 0,037$$

10 $\text{bzw. Ausgang} = \text{TANH}(0,037) = 0,037$

Beim ersten, in Fig. 7 dargestellten Eingangsmuster liegen die Werte für die Periodendauer bei 0,423 und die Spannung bei 0,524 was einer Spannung von 10V entspricht.
15 Die Adaptionperiode liegt bei einem niedrigerem Wert, nämlich bei 0,279.

Nachfolgend werden 3 weitere, in den Figuren 10, 11 und 12 schematisch dargestellte Eingangsmuster betrachtet.

20 Das in Fig. 9 dargestellte zweite Eingangsmuster unterscheidet sich von dem in Fig. 7 dargestellten ersten Eingangsmuster stark durch die Periodendauer von 1,001 gegenüber 0,423, während die Spannung und die Adaptionperiode mit 0,456 bzw. 0,277 annähernd konstant bleiben. Ebenfalls unverändert bleiben die Verbindungsgewichte, mit denen die verborgenen Neuronen 111, 112 mit den Ausgängen der Eingangsneuronen 101, 102, 103 verbunden sind, sowie die Bias-Werte der verborgenen Neuronen 111, 112 und des Ausgangsneurons 12.
25

Daraus ergeben sich wie vorstehend an Hand der Fig. 7 beschrieben die Ausgangswerte 0,75 für das erste verborgene Neuron 111 und 0,997 für das zweite verborgene Neuron 112 sowie 0,67 für das Ausgangsneuron 12.
30

Bei dem in Fig. 10 dargestellten dritten Eingangsmuster ist der Spannungswert bei 16V angenommen mit einem Eingangswert von 0,824. Die Periodendauer liegt bei 0,245 und die Adaptionperiode geringfügig modifiziert bei 0,261. Daraus ergibt sich der Ausgangswert des Ausgangsneurons 12, bei dem aus dem Eingangsmuster kein Einklemmen erkannt wird zu 0,241. Dennoch können solche Eingangsmuster von Einklemmen
35

Mustern unterschieden werden, was an Hand der schematischen Darstellung des Backpropagation Netzwerks in Fig. 12 verdeutlicht wird.

Bei dem Eingangsmuster gemäß Fig. 11 ist die Motorspannung mit dem Wert 0,774 leicht eingebrochen, während die Periodendauer gegenüber dem Vergleichswert von 0,245 auf 0,382 angestiegen ist.

In den Fig. 12a und 12b sind zwei Diagramme dargestellt, die den Lernerfolg des in den Fig. 7 und 9 bzw. 10 und 11 dargestellten neuronalen Netzes bei Spannungswerten von 10 V und 16 V sowie den in den Fig. 7 und 9 bzw. 10 und 11 vorgegebenen Eingangsmustern grafisch darstellen. Die sich aus den Backpropagation Netzwerken gemäß den Fig. 9 und 11 ergebenden Lernvorgaben sind in Form der vorgegebenen Einklemmkraft in jeweils dick ausgezogenen Linien dargestellt, während die sich aus den jeweiligen Eingangsmustern ergebenden Ausgangswerte entsprechend den Backpropagation Netzwerken gemäß den Fig. 7 und 10 durch die dünn ausgezogenen Kurvendarstellungen repräsentiert werden.

Bezugszeichenliste

1	Kraftfahrzeugtür
2	Fensterheber
3	Antriebsmotor
4	Schalteneinrichtung
5	Spannungsquelle
6	Mikroprozessor
7	Bedienungseinheit
8	Mikrocomputer
9	neuronales Netz (Backpropagation-Netzwerk)
10	Eingangsneuronen
11	verborgenen Neuronen
12	Ausgangsneuron
14, 15, 16	gewichteten Verbindungen
91	Eingangs- oder Eingabeschicht
92, 93	verborgene Schichten
94	Ausgangs- oder Ausgabeschicht
101, 102, 103	Eingangsneuronen
111, 112	verborgene Neuronen

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils, insbesondere einer Fensterscheibe oder eines Schiebedaches in Kraftfahrzeugen,

dadurch gekennzeichnet,

dass mehrere aus der Antriebseinrichtung (2, 3) ableitbare Eingangssignale, die eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung (2, 3) repräsentieren, an Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) einer Eingangsschicht (91) eines neuronalen Netzes (9) mit mindestens einer verborgenen Neuronen (11; 111, 112) aufweisenden verborgenen Schicht (92, 93) eingegeben werden, das an mindestens einem Ausgangsneuron (12) einer Ausgangsschicht (94) einen der Verstellkraft oder einen eingeklemmten oder nicht eingeklemmten Zustand entsprechenden Ausgangswert abgibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass die aus der Antriebseinrichtung (2, 3) ableitbaren Eingangssignale indirekt eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung (2, 3) repräsentieren.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung (2, 3) durch eine Veränderung der Periodendauer und/oder des Motorstroms und/oder der Motorspannung eines Antriebsmotors (3) der Antriebseinrichtung (2, 3) ermittelt wird.

4. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass die aus der Antriebseinrichtung (2, 3) ableitbaren Eingangssignale parallel oder seriell an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) der Eingangsschicht (91) des neuronalen Netzes (9) abgegeben werden.

5. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eingänge der Eingangsschicht (91), der verborgenen Schicht (92, 93) und der Ausgangsschicht (94) sowie die Verbindungen (14) der Eingangsschicht (91) mit der mindestens einen verborgenen Schicht (92), die Verbindungen (15) der mehreren verborgenen Schichten (92, 93) untereinander und die Verbindungen (16) einer verborgenen Schicht (93) mit der Ausgangsschicht (94) unterschiedlich stark gewichtet werden.

6. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die verborgenen Neuronen (11; 111, 112) der mindestens einen verborgenen Schicht (92, 93) und das mindestens eine Ausgangsneuron (12) der Ausgangsschicht (94) einen konstanten Schwellwert oder Bias besitzt, der den Ausgang der Transferfunktionen der Neuronen (10, 11, 12; 101, 102, 103; 111, 112) in einen stetigen Bereich verschiebt.

7. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103), verborgenen Neuronen (11; 111, 112) und/oder Ausgangsneuronen (12) des neuronalen Netzes (9) in einer Lernphase

- zufällige Gewichte vergeben werden,
- verschiedene an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) angelegte Eingangsmuster vorgegeben und der dazugehörige mindestens eine Ausgangswert berechnet wird und
- in Abhängigkeit vom Unterschied zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und mindestens einem Soll-Ausgangswert die Gewichte und/oder der Schwellwert verändert werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Maß der Änderung der Gewichte von der Größe des Unterschieds zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und dem mindestens einen Soll-Ausgangswert abhängt.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ausgangswert mit einer Kraftmesszange bei unterschiedlichen Federraten, insbesondere bei 2 N/mm und 20 N/mm, gemessen wird, und dass die Kraftmesszange analog zu den Eingangswerten den gemessenen Ausgangswert ausgibt.

5

10. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass den Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) als Eingangssignale die Motorperiode, der Motorstrom und/oder die Motorspannung des Antriebsmotors eingegeben werden.

10

11. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass den Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) als zusätzliches Eingangssignal eine Adaptionperiode eingegeben wird, die die bei einer vorgegebenen Referenzspannung berechnete Periode angibt, die zur Position einer in der Lernphase abgelegten Referenzwegstrecke gehört.

15

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Adaptionperiode in einem kleineren als dem in der Anwendung verwendeten neuronalen Netz berechnet wird.

20

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Adaptionperiode gemittelt wird, indem bei jeder vollen Umdrehung oder in 4 Viertelperioden des Antriebsmotors das neuronale Netz eine neue Adaptionperiode errechnet, die bei der nächsten Verstellbewegung als Adaptionperiode zur Verfügung gestellt wird.

25

30

14. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eingangswerte der Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) aus

35

- den Werten eines Adaptionanlaufs des translatorisch verstellbaren Bauteils,

- den Werten einer Adaptionperiode beim Verstellen des translatorisch verstellbaren Bauteils
- einem Anlaufflag,
- den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Antriebsmotor-Spannungswerte,
- den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Periodenwerte,
- der Antriebsmotortemperatur,
- der Außentemperatur
- einem Geschwindigkeitssignal,
- einem Schwingflag und
- einem vorangegangenen Ausgangswert

bestehen und als Ausgangswert eines Ausgangsneurons die neuronal ermittelte Kraft abgegeben wird.

15. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Lernphase des neuronalen Netzes (9) an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) angelegte Eingangsmuster und die von dem mindestens einen Ausgangsneuron (12) abgegebenen Kraftwerte in Abhängigkeit von der gewünschten Empfindlichkeit des Systems bei niedrigen Federraten ausgewählt bzw. vorgegeben werden.

16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lernanteil in der Lernphase des neuronalen Netzes (9) aus der Adaptionperiode besteht, die nach jedem Lauf neu in der Anwendung ermittelt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lernphase vor der betriebsgemäßen Anwendung in einem Fahrzeug erfolgt.

18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der betriebsgemäßen Anwendung die in der Lernphase ermittelten Gewichte des neuronalen Netzes (9) festgelegt werden.

Zusammenfassung

Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen Bauteils

5

Bei einem Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils, insbesondere eine Fensterscheibe oder ein Schiebedach in Kraftfahrzeugen, werden

10 mehrere aus der Antriebseinrichtung ableitbare Eingangssignale, die ein Abbremsen der Antriebseinrichtung direkt oder indirekt repräsentieren wie ein Anstieg der Periodendauer und/oder der Stromaufnahme eines Antriebsmotors der Antriebseinrichtung, gleichzeitig

15 an Eingangsneuronen einer Eingangsschicht eines neuronalen Netzes mit mindestens einer verborgene Neuronen aufweisenden verborgenen Schicht eingegeben, das an mindestens einem Ausgangsneuron einer Ausgangsschicht einen der Verstellkraft oder einen eingeklemmten oder nicht eingeklemmten Zustand entsprechenden Ausgangswert abgibt.

FIG 1

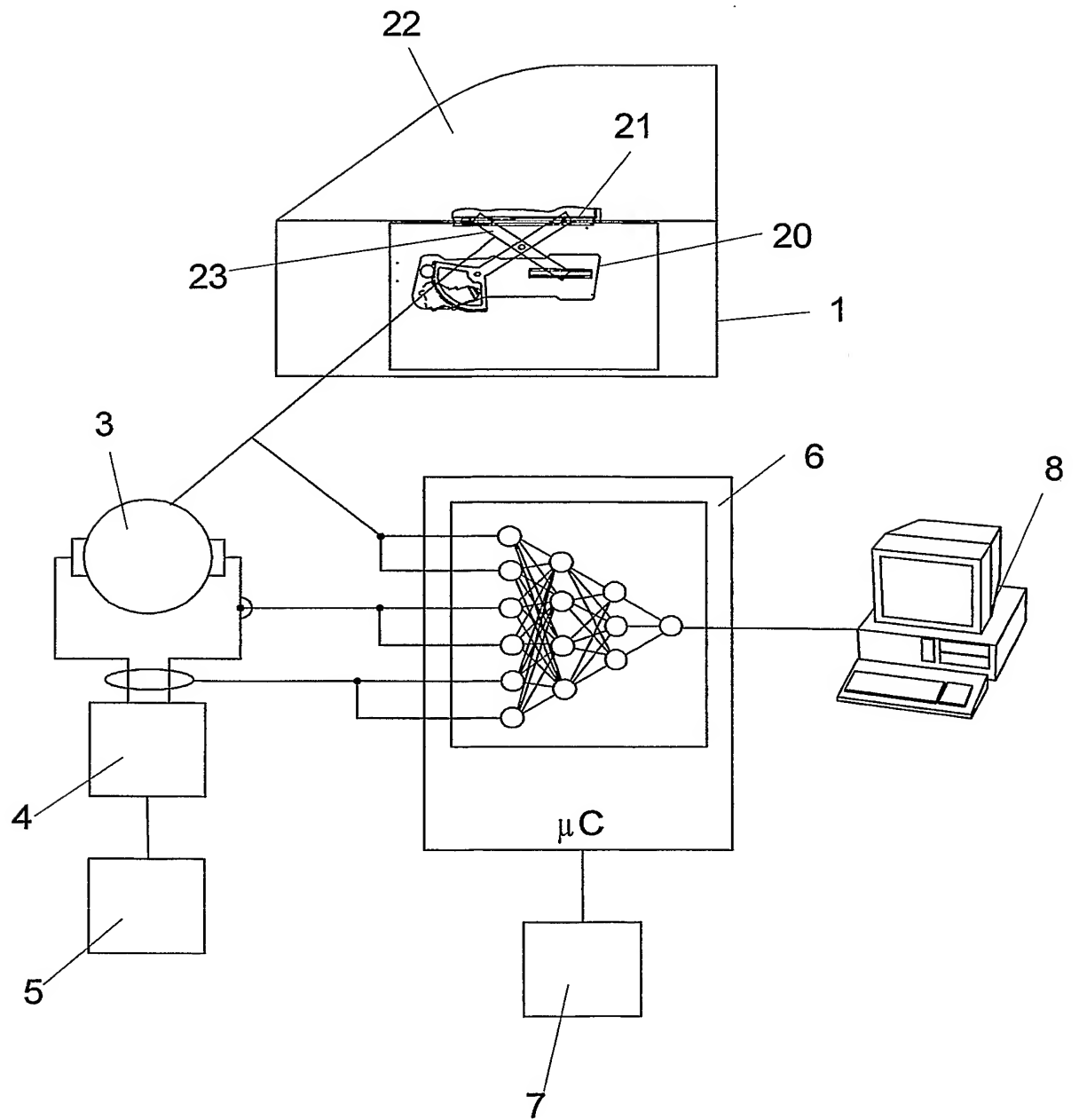


FIG 2

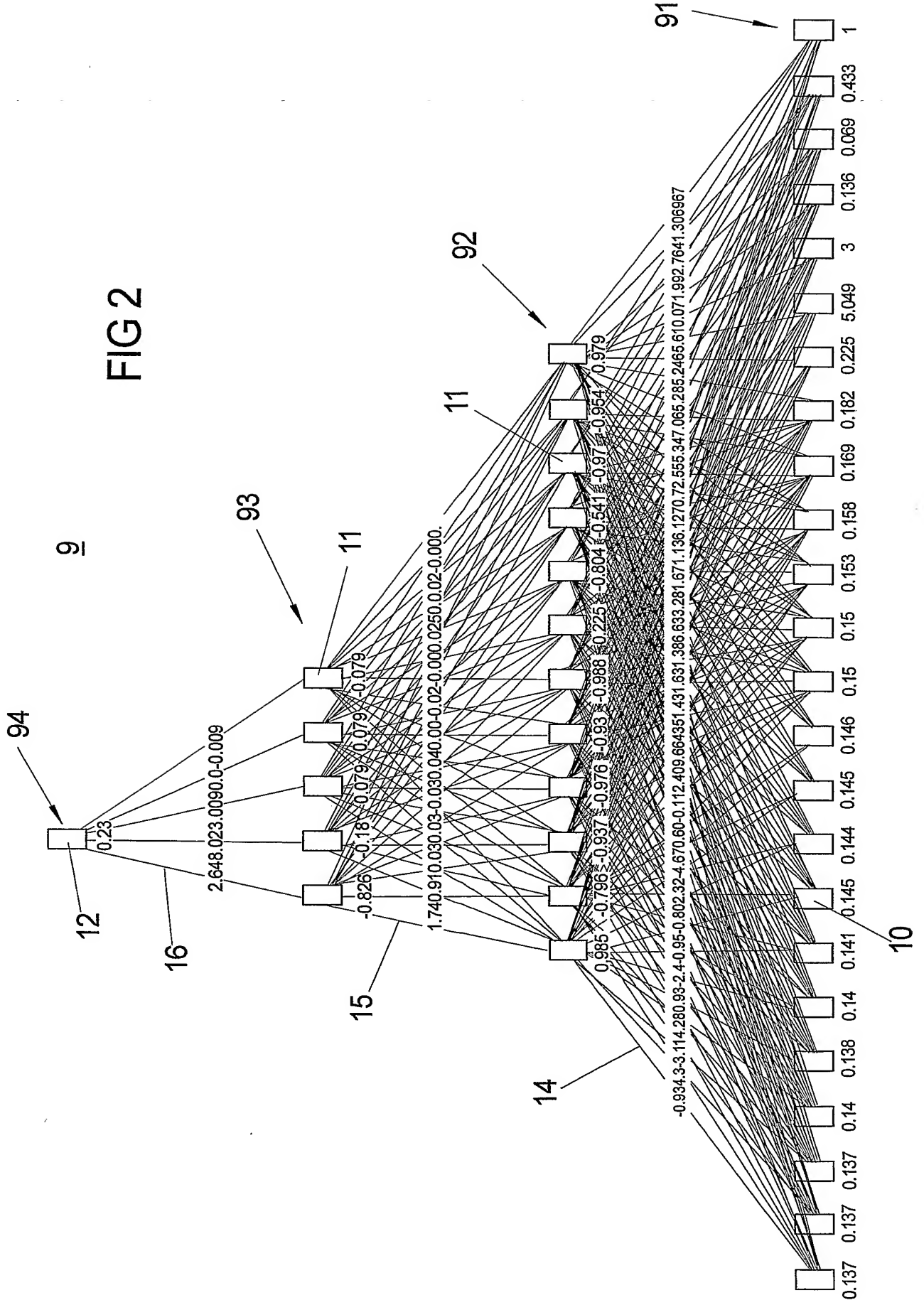


FIG 3

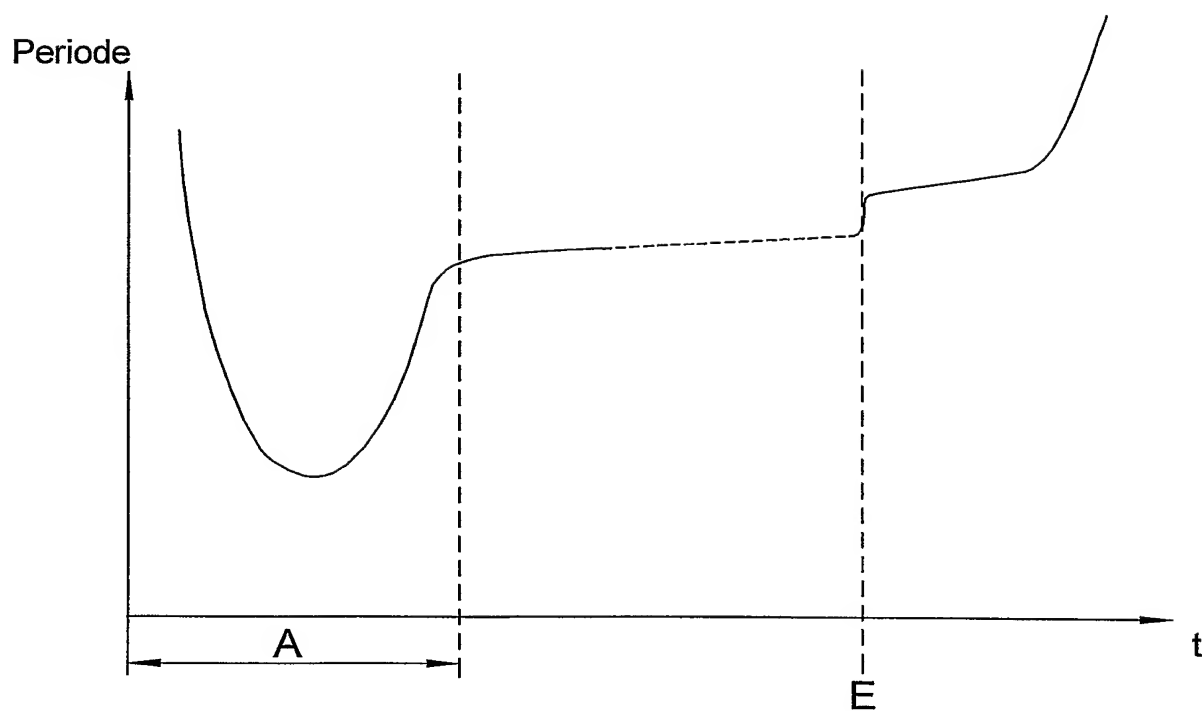


FIG 4A

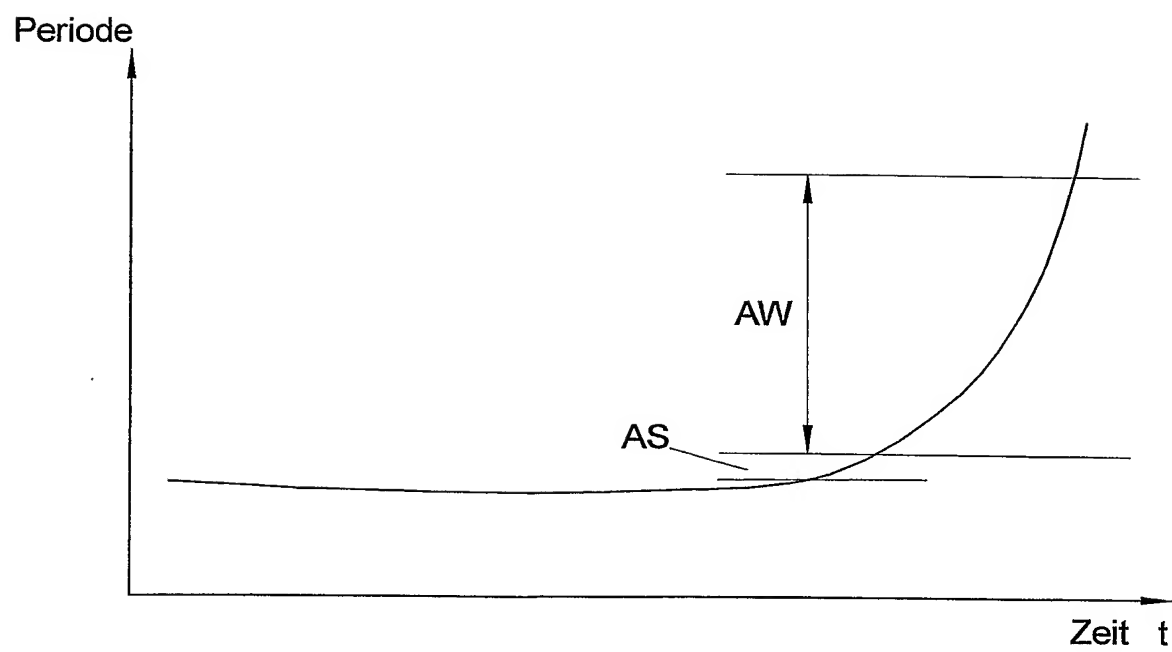


FIG 4B

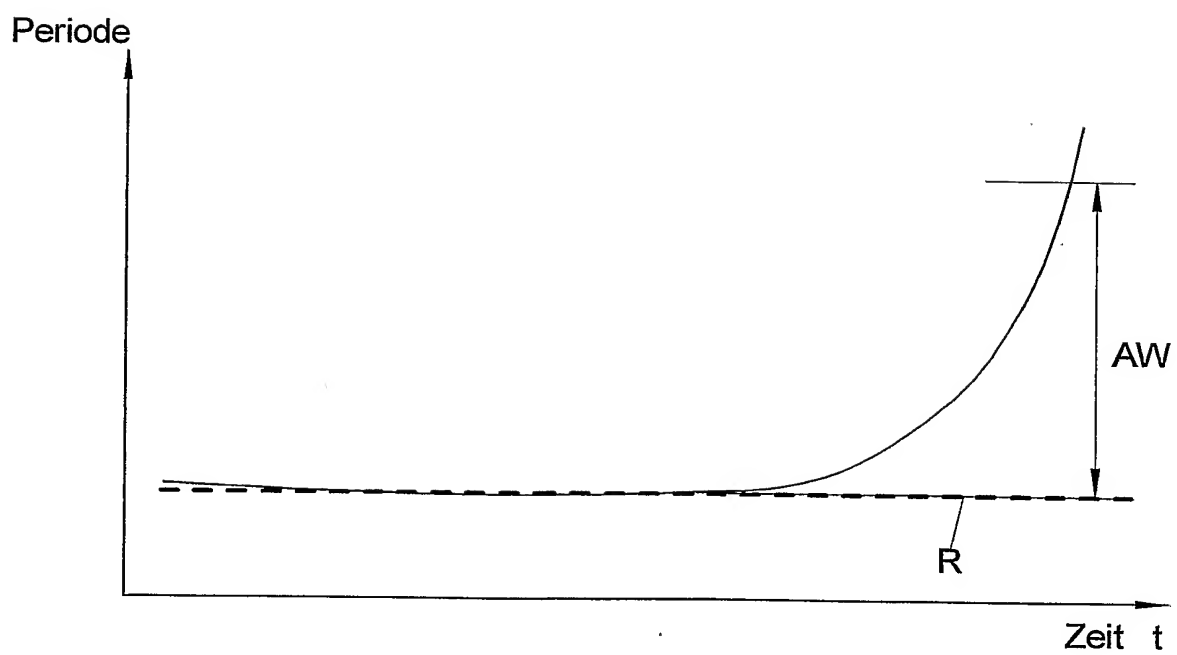


FIG 5

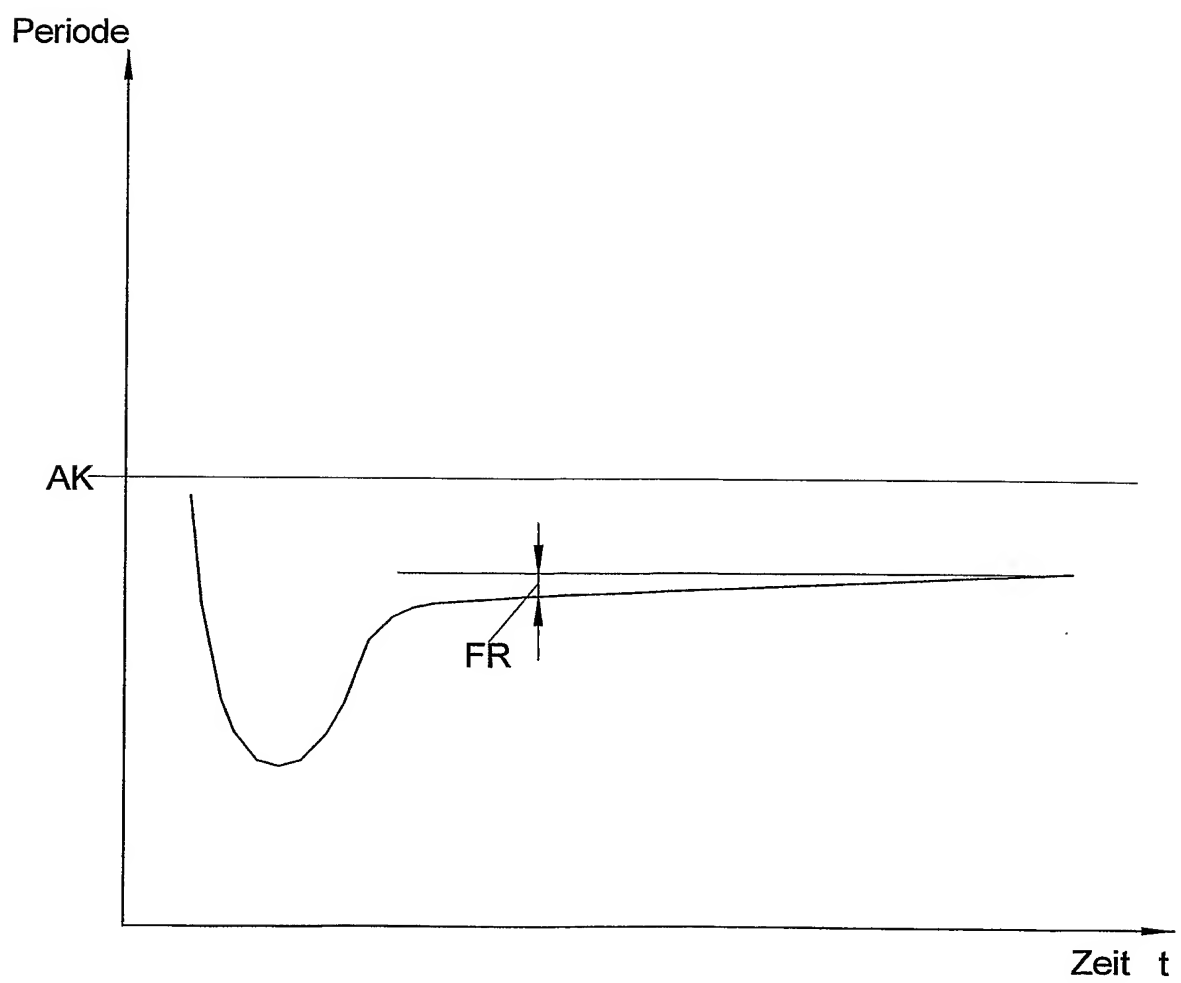


FIG 6

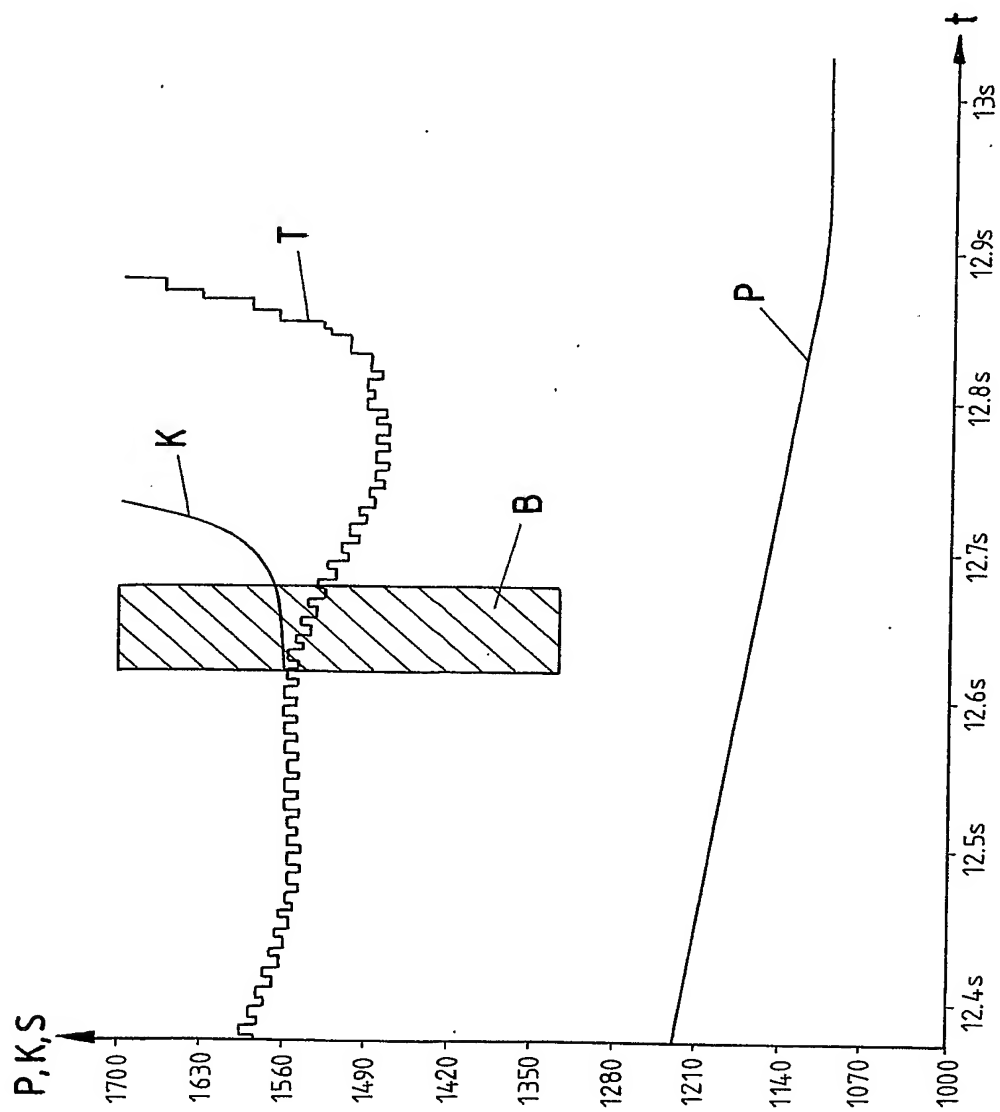


FIG 7

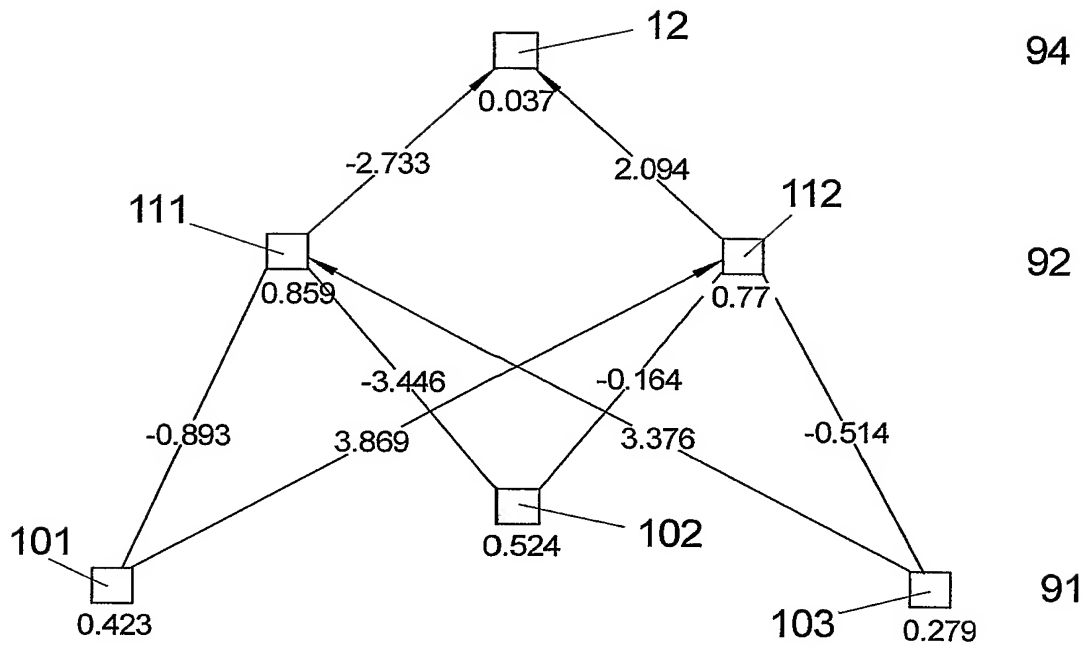


FIG 8

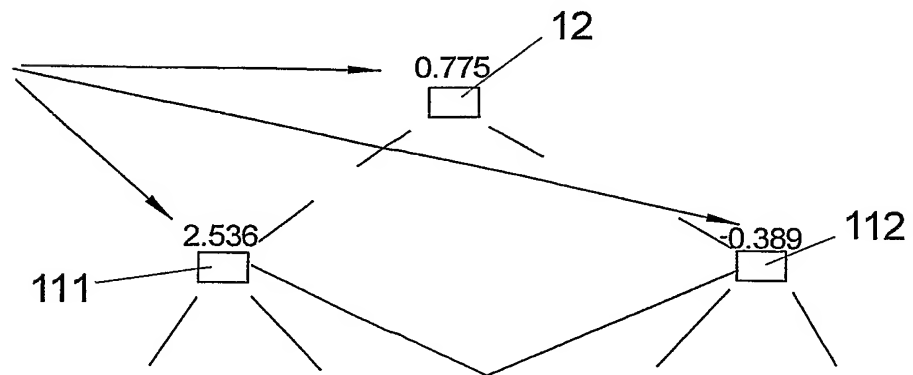


FIG 9

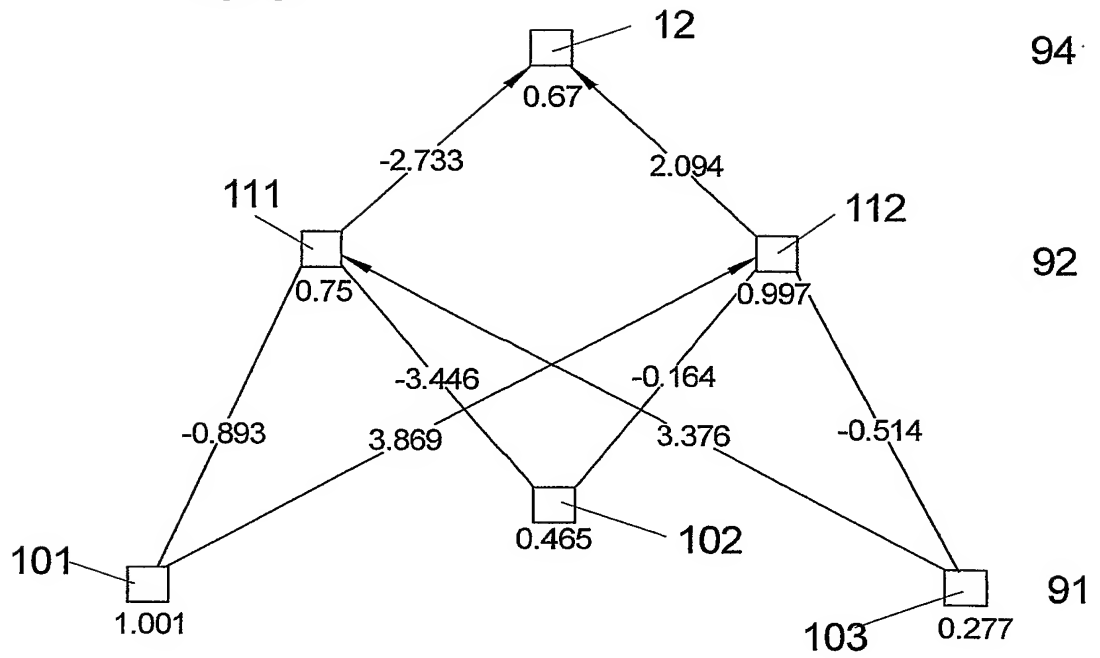


FIG 10

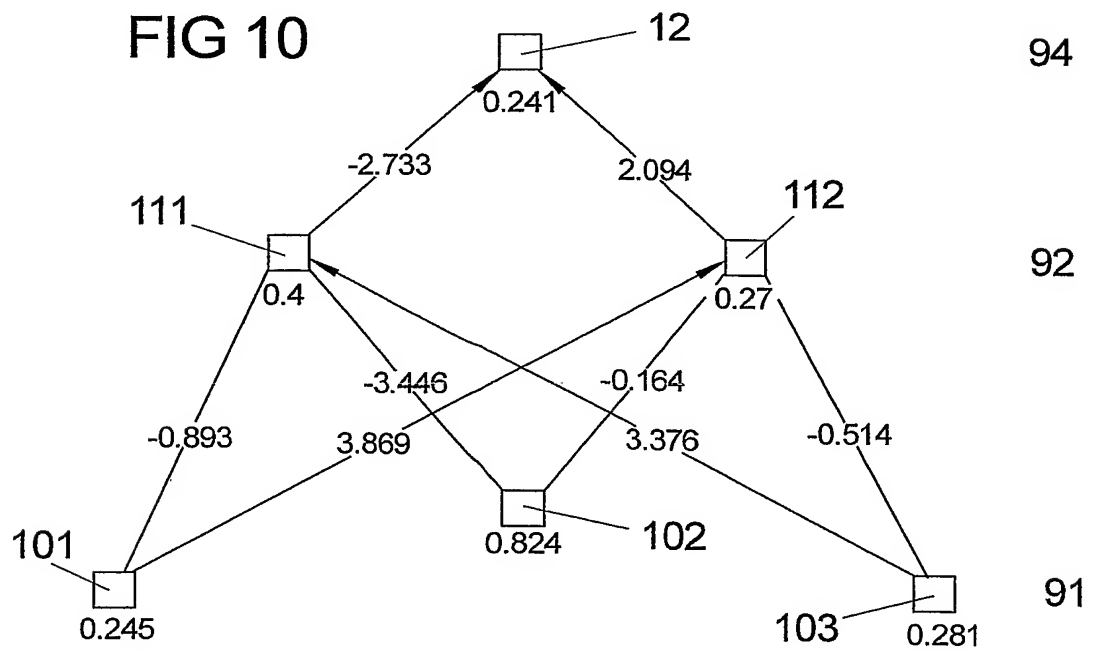


FIG 11

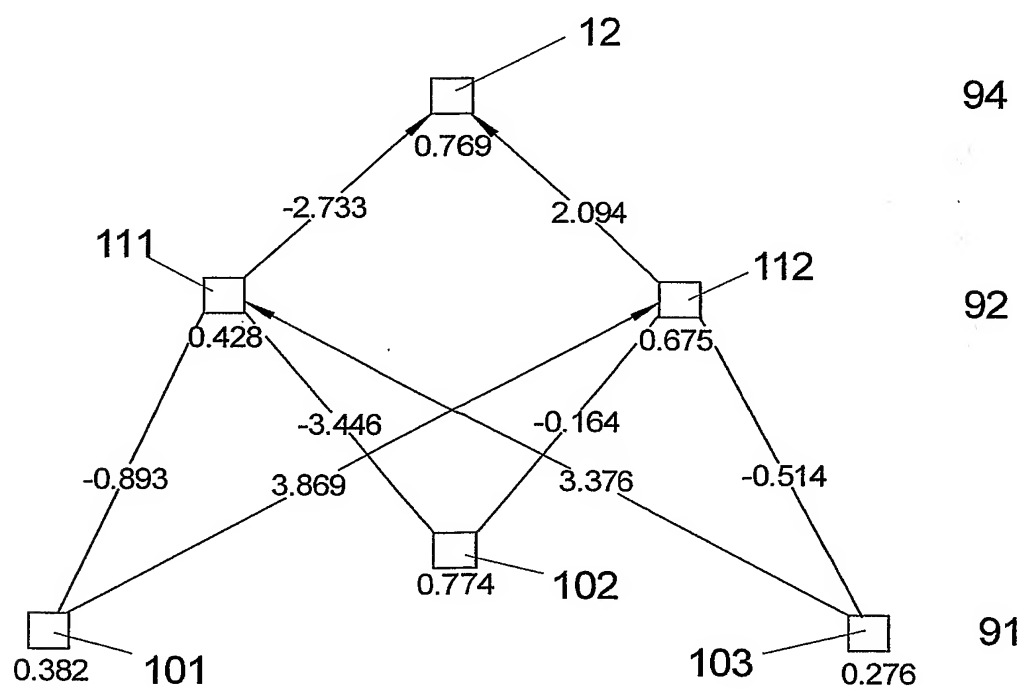


FIG 12A

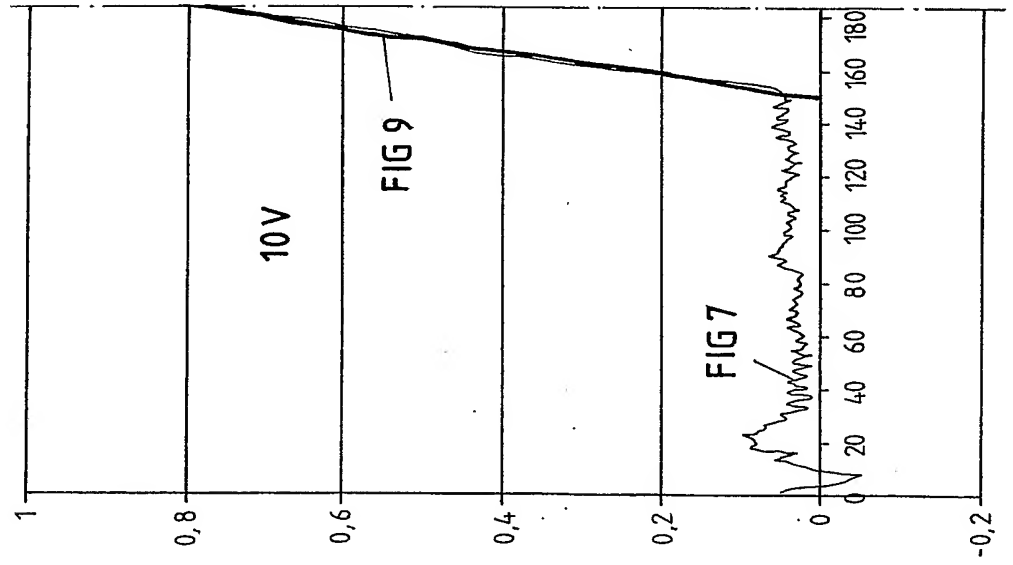


FIG 12B

